

С. Ф. ЧАЛИЙ, Є. О. БОГАТОВ, І. Б. ПРИБИЛЬНОВА

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ УПОРЯДКОВАНИХ ПО ПРОЦЕСАМ ТРАС ЖУРНАЛУ ПОДІЙ В ЗАДАЧАХ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

Досліджено проблему формування вхідних даних для побудови моделей бізнес-процесів методами інтелектуального аналізу процесів. Показано, що журнали подій реальних інформаційних систем не завжди відповідають вимогам щодо впорядкованості вхідних даних по процесам, тобто журнал може мати одну трасу із подіями з різних бізнес-процесів. Вирішено задачі аналізу особливостей трас в журналі подій бізнес-процесу і розробки методів формування упорядкованих по процесам трас журналу подій інформаційної системи процесного управління на основі порівняння атрибутів подій та на основі порівняння з інваріантами атрибутів подій логів бізнес-процесів. Перший метод формує траси журналу бізнес-процесу на основі попарного порівняння атрибутів подій за критерієм максимізації кількості спільних значень атрибутів для цієї пари. Метод послідовно вибирає події із спільної траси для декількох бізнес-процесів та після попарного порівняння атрибутів із подіями трас конкретних бізнес-процесів визначає належність наступної події до траси відповідного процесу. При порівнянні виконується також виявлення кінцевої події бізнес-процесу. Другий метод формує траси логів на основі порівняння інваріанту атрибутів подій та події, що аналізується, за критерієм максимізації ваги значень спільних атрибутів. На відміну від першого методу, при виборі нового бізнес-процесу формується інваріант у вигляді суми ваг значень атрибутів логів бізнес-процесу. Ваги значень атрибутів відображають кількість появ цих значень при виконанні бізнес-процесу. Це дає можливість врахувати історію виконання бізнес-процесу при реалізації методу. У практичному плані обидва запропоновані методи дозволяють сформувати множину журналів подій бізнес-процесів, що виконуються паралельно, у форматі, придатному для використання методів та технологій інтелектуального аналізу процесів. Перший метод має більш низьку точність. Проте його перевагою є можливість застосування лише при наявності спільної траси декількох бізнес-процесів, без попередньо відомих упорядкованих трас логів кожного бізнес-процесу. Другий метод дозволяє підвищити точність виділення траси подій для кожного бізнес-процесу. Недолік даного методу полягає в тому, що він потребує апріорного формування інваріанту атрибутів подій бізнес-процесу.

Ключові слова: бізнес-процеси, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління, траса, журнал подій, атрибути подій, ресурси бізнес-процесу, темпоральні характеристики подій.

С. Ф. ЧАЛИЙ, Е. О. БОГАТОВ, И. Б. ПРИБИЛЬНОВА

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ ПО ПРОЦЕССАМ ТРАСС ЖУРНАЛА СОБЫТИЙ В ЗАДАЧАХ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Исследована проблема формирования входных данных для построения моделей бизнес-процессов методами интеллектуального анализа процессов. Показано, что журналы событий реальных информационных систем не всегда соответствуют требованиям упорядоченности входных данных по процессам, то есть журнал может иметь одну трассу с событиями из различных бизнес-процессов. Решены задачи анализа особенностей трасс в журнале событий бизнес-процесса и разработки методов формирования упорядоченных по процессам трасс журнала событий информационной системы процессного управления на основе сравнения атрибутов событий и на основе сравнения с инвариантами атрибутов событий логов бизнес-процессов. Первый метод формирует трассы журнала бизнес-процесса на основе попарного сравнения атрибутов событий по критерию максимизации количества совместных значений атрибутов для этой пары. Метод последовательно выбирает события из общей трассы для нескольких бизнес-процессов и после парного сравнения атрибутов с событиями трасс конкретных бизнес-процессов определяет принадлежность следующего события к трассе соответствующего процесса. При сравнении выполняется также выявление конечного события бизнес-процесса. Второй метод формирует трассы лог на основе сравнения инварианта атрибутов событий и события, которое анализируется, по критерию максимизации веса значений общих атрибутов. В отличие от первого метода, при выборе нового бизнес-процесса формируется инвариант в виде суммы весов значений атрибутов лог бизнес-процесса. Веса значений атрибутов отражают количество появлений этих значений при выполнении бизнес-процесса. Это дает возможность учесть историю выполнения бизнес-процесса при реализации метода. В практическом плане оба предложенных метода позволяют сформировать набор журналов событий бизнес-процессов, выполняемых параллельно, в формате, пригодном для использования методов и технологий интеллектуального анализа процессов. Первый метод имеет более низкую точность. Однако его преимуществом является возможность применения при наличии только совместной трассы нескольких бизнес-процессов, без предварительно известных упорядоченных трасс лог каждого бизнес-процесса. Второй метод позволяет повысить точность выделения трассы событий для каждого бизнес-процесса. Недостаток данного метода заключается в том, что он требует априорного формирования инварианта атрибутов событий бизнес-процесса.

Ключевые слова: бизнес-процессы, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление, трасса, журнал событий, атрибуты событий, ресурсы бизнес-процесса, темпоральные характеристики событий.

S. F. CHALYI, E. O. BOGATOV, I. B. PRIBYLYNOVA

TECHNIQUES OF REORDERING TRACES IN THE EVENT LOGS IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT TASKS

The problem of formation of input data for construction of models of business processes by methods of the intellectual analysis of processes is studied. It is shown that event logs of real information systems do not always meet the requirements of the ordering of input data on processes, that is, a log can have one track with events from different business processes. The tasks of analysis of trace characteristics in the business process event log and the development of methods for forming process events information order tracks organized on the basis of the comparison of event attributes and on the basis of comparison with the invariants of the event attributes of the business process logs are organized in the processes of the log of events events of the process management information system. The first method generates business process log lines based on pairwise comparison of event attributes based on the criterion for maximizing the number of shared attribute values for this pair. The method sequentially selects events from the common path for several business processes, and after pairwise comparison of the attributes with the events of the traces of specific business processes, determines the belonging of the next event to the path of the corresponding process. When comparing, the end event of the business process is also detected. The second method generates log lines based on the comparison of the invariant of the event attributes and the event, which is analyzed by the criterion of maximizing the weight of the values of the common attributes. Unlike the first method, when choosing a new business process, an invariant is created in the form of a sum of weights of the values of the attributes of the log of the business process. The scales of attribute values reflect the number of occurrences of these values in the execution of the business process. This allows you to take into account the history of the implementation of the business process in implementing the method. In practical terms, both proposed methods allow the formation of a set of business process event logs that are executed in parallel in a format suitable for use of methods and technologies of the intellectual analysis of processes. The first method has a

lower accuracy. However, its advantage is the ability to use in the presence of only a joint path of several business processes, without the previously known orderly traces log of each business process. The second method allows you to increase the accuracy of the highlighting of the event path for each business process. The disadvantage of this method is that it requires a priori formation of the invariant of the attributes of the business process events.

Keywords: business process, process mining, process management, trace, event log, event attributes, business process resources, event time stamp.

Вступ. В останні десятиліття відбулася еволюція підходів до управління підприємством, від орієнтації на вирішення конкретних функціональних завдань підприємства до супроводу, моніторингу та аналізу процесів, які пронизують підприємство [1, 2].

Бізнес-процесом (БП) є послідовність робіт, пов'язаних причинно-наслідковими зв'язками, які виконуються для досягнення конкретної мети організації, пов'язаної з виробництвом продукції чи послуг. Управління бізнес-процесами передбачає вирішення задач побудови процесних моделей та подальше управління за відхиленням згідно параметрів цих моделей [3, 4].

При побудові моделі БП спочатку формується поточна модель процесу «як є», яка потім трансформується до моделі бажаного виду «як повинно бути». Побудова моделі «як є» виконується в результаті аналізу зібраних на попередньому етапі даних. У процесі такого аналізу здійснюється виявлення структурних елементів та знань про БП підприємства [5, 6].

З метою скорочення витрат часу на побудову моделі «як є» використовуються методи інтелектуального аналізу бізнес-процесів – process mining [7].

Побудова моделей БП в рамках даної технології здійснюється шляхом аналітичної обробки журналів (логів) подій інформаційної системи. Кожен журнал подій складається з трас. Траса містить упорядковану в часі послідовність подій. Кожна подія відповідає дії бізнес-процесу або зміні стану цієї дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі методи інтелектуального аналізу процесів [7–12] орієнтовані на використання журналів подій з такими характеристиками: наявність великих обсягів даних про конкретний бізнес-процес, що накопичені в результаті багаторазового виконання процесу [7, 10]; наявність певної структури в логах, яка відображає зв'язки між діями процесу, виконавцями, ресурсами, тощо [7, 11].

На практиці на підприємстві паралельно виконується множина бізнес-процесів, як формалізованих і представлених в системі управління, так і латентних, що відповідають корпоративній культурі [6]. В результаті лог може містити у собі події різних процесів у вигляді однієї траси. Так траса складається з упорядкованої в часі об'єднаної послідовності подій всіх паралельних бізнес-процесів. Послідовний перехід між подіями для такої траси може вести від одного процесу до іншого.

Зазначена особливість об'єднаного логу не дозволяє використовувати традиційні методи інтелектуального аналізу процесів для побудови моделей БП «як є», що потребує розробки методів формування упорядкованих по процесам журналів

подій із такого об'єднаного логу та свідчить про актуальність теми даної статті.

Метою даної статті є розробка методів передньої обробки журналу подій з тим, щоб розділити об'єднану трасу з подій різних бізнес-процесів на окремі траси для кожного БП, що дає можливість формувати моделі бізнес-процесів «як є» традиційними методами інтелектуального аналізу процесів.

Для досягнення мети вирішуються задачі:

– аналіз особливостей трас в журналі подій бізнес-процесу;

– розробка методу формування упорядкованих по процесам трас журналу подій інформаційної системи процесного управління на основі порівняння атрибутів подій;

– розробка методу формування упорядкованих по процесам трас журналу подій інформаційної системи процесного управління на основі порівняння з інваріантами атрибутів подій логів бізнес-процесів.

Структуризація журналу подій. Журнал подій відображає послідовність виконання одного або підмножини процесів підприємства. Фаза виконання є однією з фаз життєвого циклу бізнес-процесу, що відображають послідовність реалізації задач процесного управління. Задачі управління такими бізнес-процесами виконуються у такій послідовності:

– побудова «з чистого листа» або удосконалення моделі бізнес-процесу;

– впровадження (конфігурування) моделі бізнес-процесу в системі процесного управління;

– виконання та моніторинг дій бізнес-процесу;

– аналіз результатів виконання.

У результаті виконання першої задачі формується модель процесу у вигляді можливих його станів та послідовностей дій, що призводять до переходів між станами. При побудові бізнес-процесу можуть бути використані журнали подій (логи). В такому випадку використовуються методи інтелектуального аналізу процесів.

При виконанні другої задачі виконується доповнення моделі можливостями програмної платформи, наприклад можливостям автоматичного виконання робіт з використанням програмних засобів цієї платформи.

При виконанні третьої задачі послідовність виконання кожного бізнес-процесу фіксується в лозі (log) системи процесного управління.

При виконанні четвертої задачі проводиться перевірка властивостей виконаного процесу, а також його відповідності моделі. Для цього виконується аналіз логу процесу методами process mining [12]. За результатами аналізу виконується коригування моделі бізнес-процесу.

Послідовність подій траси відображає виконання одного екземпляру бізнес-процесу, або сукупності

процесів, що виконуються паралельно. Кожна подія траси описує стан бізнес-процесу після завершення чергової дії. Подія характеризується часом її виникнення, а також множиною значень атрибутів, що відображають стан дії та ресурсів бізнес-процесу, наприклад: найменування дії; роль та ім'я виконавця; назва об'єкту управління; тощо. Траса π_i є направленим ациклічним графом та містить у собі кінцеву упорядковану в часі послідовність подій:

$$\pi_i = \langle e_{i1}, \dots, e_{ij}, \dots \rangle, \{f\}, \quad (1)$$

де e_{ij} – подія траси;

f – відношення переходу між подіями траси

Кожна подія складається із множини міток часу та атрибутів, що відображають використані ресурси:

$$e_{ij} = \{t_{ij}, A_{ij}\}, \quad (2)$$

де t_{ij} – час виникнення події;

$A_{ij} = \{a_{ij}^k\}$ – події.

У виразі (2) для спрощення подальшого опису критеріїв в якості елементів множини атрибутів ми розглядаємо пари (назва атрибуту, значення атрибуту). Тобто при співпаданні атрибутів повинні співпадати як його назва, так і його значення. Таке спрощення ґрунтується на описі атрибутів у стандартному журналі подій у вигляді текстової строки з двох вказаних елементів.

На основі проведеної структуризації журналу подій можемо зробити такі висновки.

В якості вхідних даних при побудові моделей процесів методами process mining виступають логи інформаційних систем, які мають спеціальну структуру [13].

Ключова особливість структури таких журналів полягає в тому, що події в них повинні бути зафіксовані по процесам. Іншими словами, кожна реалізація процесу повинна бути відображена окремим записом у вигляді трас процесу: послідовності подій з часовими мітками. Кожна подія траси логу фіксує виконання відповідної дії процесу.

У той же час логи реальних інформаційних систем не завжди відповідають зазначеним вимогам. З одного боку, традиційні системи колективної роботи не фіксують виконання процесів. Тому їх логи містять послідовності подій, що відносяться до різних процесів. Також логи процесно-орієнтованих систем часто містять неповну інформацію для побудови процесної моделі.

Метод формування упорядкованих по процесам трас журналу подій на основі порівняння атрибутів подій. При нормальному виконанні бізнес-процесу кожна траса має початкову та фінальні події. Кінцева подія відображає успішне завершення бізнес-процесу.

У випадку єдиної траси для множини паралельних процесів не виділяються початкові та кінцеві події для кожного бізнес-процесу, що не дозволяє відрізнити окремі БП.

Для вирішення цієї проблеми пропонується виділити траси паралельних процесів з єдиної траси

журналу подій. При виділенні трас перевіряється порядок подій у часі та використання ресурсів бізнес-процесу. Порядок подій визначається мітками часу, а використання ресурсів – значеннями атрибутів бізнес-процесу.

Ідея запропонованого методу полягає в тому, що відмінності у використанні ресурсів між двома послідовними подіями з одного процесу будуть менше ніж відмінності між атрибутами подій з різних бізнес-процесів.

Наприклад, для пари послідовних подій процесу обробки договорів між підприємствами буде вказана назва одного й того ж договору, однакові реквізити підприємств але, можливо, зміниться виконавець роботи.

В різних процесах значення атрибутів, як правило, будуть відрізнятися. Тому критерій для включення події e_{ij} до траси π_i бізнес-процесу полягає в знаходженні максимальної кількості спільних значень атрибутів a_k :

$$K_1 = \max_i (|a_{ij}^k \cap a_{ij+1}^k|), \quad (3)$$

Ознакою кінцевої події для бізнес-процесу є мінімальне, нижче порогового, значення кількості спільних значень атрибутів для двох послідовних подій логу сукупності паралельних бізнес-процесів:

$$\max_i (|a_{ij}^k \cap a_{ij+1}^k|) < \varepsilon, \quad (4)$$

де ε – порогове значення кількості спільних атрибутів між двома послідовними подіями логу.

В такому випадку критерієм K_{1f} переходу до кінцевої події бізнес-процесу e_{ij+1} буде:

$$K_{1f} = \max_i (|a_{ij}^k \cap a_{ij+1}^k| \text{ if } |a_{ij}^k \cap a_{ij+1}^k| < \varepsilon). \quad (5)$$

Запропонований метод формування упорядкованих по процесам трас журналу подій на основі порівняння атрибутів використовує наведені критерії, та характеризується такими особливостями.

Вхідними даними методу є послідовність подій у вигляді траси, що містить сукупність подій з декількох паралельних бізнес-процесів, або ж траса логу традиційної, функціонально-орієнтованої системи управління. Послідовність подій та характеристики цих подій представлені у вигляді (1) та (2).

Вихідними даними методу є журнал у вигляді множини трас, причому кожна траса відповідає окремому бізнес-процесу:

$$P^* = \{\pi_i^* | \forall l \ Bp_l \rightarrow \pi_i^*\}, \quad (6)$$

де Bp_l – бізнес-процес, якому відповідає траса π_i^* ;

P – лог з трасами декількох бізнес-процесів.

Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Вибір бізнес-процесу Bp_l .

Етап 2. Вибір першої події e_{i1} з мінімальним значенням параметру часу t_{i1} .

Етап 3. Перевірка критерію (4) для поточної події e_{ij} траси π_i . У випадку, якщо критерій (4) задовольняється то перехід до етапу 7, інакше – етапу 4.

Етап 4. Вибір наступної події e_{ij+1} бізнес-процесу Bp_i за критерієм (3).

Етап 5. Доповнення траси π_i^* подією e_{ij+1} .

Етап 6. Вибір події e_{ij+1} в якості поточної та перехід до етапу 3.

Етап 7. Виявлення кінцевої події у відповідності до критерію (5).

Етап 8. Доповнення траси π_i^* кінцевою подією.

Етап 9. Перевірка: якщо розглянуто всі бізнес-процеси, то завершення роботи, в іншому випадку – перехід до етапу 1.

Метод формування упорядкованих по процесам трас журналу подій на основі на основі порівняння з інваріантом атрибутів. Даний метод, на відміну від попереднього, передбачає формування інваріанту множини атрибутів логу бізнес-процесу при розгляді нового БП.

Інваріант множини атрибутів подій логу бізнес-процесу для задачі формування трас містить у собі суму ваг значень атрибутів подій, причому кожна вага атрибуту відповідає кількості повторень цього значення в атрибутах подій бізнес-процесу.

Критерій для включення події e_{ij} до траси π_i бізнес-процесу полягає в знаходженні максимальної кількості спільних значень атрибутів a_k з урахуванням їх ваги:

$$K_2 = \max_i \sum_{k=1}^K (w^k(a_{ij+1}^k)), \quad (7)$$

де w^k – кількість повторень значення k - атрибуту в ході виконання бізнес-процесу на всіх можливих трасах;

Вага атрибуту з відповідним значення обраховується наступним чином:

$$w^k = |\{a_{ij}^k\}| |Bp_i \rightarrow \pi_i^*. \quad (8)$$

Нормування ваги в даному випадку не проводиться, оскільки виконується обробка траси з різних бізнес-процесів. За один і той же проміжок часу різні процеси можуть продукувати різну кількість подій.

Ознакою кінцевої події для бізнес-процесу даному випадку є мінімальна, нижче порогу, сума ваг атрибутів подій бізнес-процесів:

$$\max_i \sum_{k=1}^K (w^k(a_{ij+1}^k)) < \varepsilon. \quad (9)$$

В такому випадку критерієм K_{2f} переходу до кінцевої події бізнес-процесу e_{ij+1} буде:

$$K_{2f} = \max_i \sum_{k=1}^K (w^k(a_{ij+1}^k)) \text{ if } w^k(a_{ij+1}^k) < \varepsilon. \quad (10)$$

Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Вибір бізнес-процесу Bp_i .

Етап 2. Формування інваріанту бізнес-процесу шляхом визначення ваг атрибутів w^k .

Етап 3. Вибір першої події e_{i1} з мінімальним значенням параметру часу t_{i1} .

Етап 4. Перевірка критерію (8) щодо закінчення бізнес-процесу для поточної події e_{ij} траси π_i . У

випадку, якщо критерій (8) задовольняється, то перейти до етапу 8, інакше – етапу 5.

Етап 5. Вибір наступної події e_{ij+1} бізнес-процесу Bp_i за критерієм (7).

Етап 6. Доповнення траси π_i^* подією e_{ij+1} .

Етап 7. Вибір події e_{ij+1} в якості поточної та перехід до етапу 3.

Етап 8. Виявлення кінцевої події у відповідності до критерію (10).

Етап 9. Доповнення траси π_i^* кінцевою подією.

Етап 10. Перевірка: якщо розглянуто всі бізнес-процеси, то завершити роботу, в іншому випадку – перехід до етапу 1.

Для експериментальної перевірки методів формування упорядкованих по процесам трас журналу подій ми використали лог, що відображає сукупність процесів розробки програмного забезпечення за гнучкою методологією. Лог містить одну неупорядковану по процесам трасу. Вхідні дані мають «csv» – формат. Результуючі дані сформовані в стандарті «xes». В результаті даних відокремлені процеси тестування та планування й контролю ходу виконання спринта.

Також було проведено експерименти з об'єднанням трас із декількох процесів у одну трасу. Ми об'єднували події з трас із різних бізнес-процесів (від 20 до 150) та упорядковували їх за мітками часу.

Результати експерименту показали, що перший метод дозволяє ідентифікувати від 91 до 95 відсотків трас, а других – від до 93 до 97 відсотків.

Висновки. Розглянуто проблему побудови вхідних даних для побудови моделей бізнес-процесів методами інтелектуального аналізу процесів. Показано, що існуючі методи орієнтовані в першу чергу на використання упорядкованих по процесам даних. Такі дані у вигляді журналів подій формуються інформаційною системою процесного управління. Журнали подій повинні містити сукупність трас, кожна з яких показує послідовність виконання одного екземпляру бізнес-процесу.

Однак журнали подій реальних інформаційних систем не завжди відповідають зазначеним вимогам. По-перше, традиційні системи колективної роботи не фіксують виконання процесів. Тому їх логи містять послідовності подій, що відносяться до різних процесів. По-друге, логи процесно-орієнтованих систем часто містять неповну або недостатньо структуровану інформацію для побудови процесної моделі.

У рамках вирішення визначеної проблеми запропоновані методи формування упорядкованих по процесам трас журналу подій інформаційної системи процесного управління.

Перший метод формує траси логу на основі попарного порівняння атрибутів подій за критерієм максимізації кількості значень спільних атрибутів для пари подій. Метод послідовно вибирає події із спільної траси для декількох бізнес-процесів та після попарного порівняння з атрибутами подій траси конкретного бізнес-процесу визначає належність наступної події до останньої траси. При попарному

порівняння виконується також виявлення кінцевої події бізнес-процесу.

Другий метод формує траси логів на основі порівняння атрибутів подій інваріанту атрибутів журналу подій конкретного бізнес-процесу та події, що аналізується, за критерієм максимізації сумарної ваги спільних атрибутів. Це дає можливість врахувати історію виконання БП при порівнянні атрибутів подій логів.

В практичному плані обидва запропоновані методи дозволяють сформувати журнали подій у форматі, придатному для використання методів та технологій інтелектуального аналізу процесів.

Список літератури

1. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin: Springer-Verlag, 2012. 403 p.
2. Vom Brocke J., Rosemann M. *Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 2015. 709 p.
3. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer, 2013. 391 p.
4. Kumar A., Van Der Aalst W. M. P., Verbeek E. M. W. Dynamic Work Distribution in Workflow Management Systems: How to Balance Quality and Performance? *Journal of Management Information Systems*. NY, USA, 2002, vol. 18(3). P. 157–193.
5. Vanderfeesten I., Reijers H. A., Van Der Aalst W. M. P. Product-Based Workflow Support. *Information Systems*. 2011, vol. 36(2). P. 517–535.
6. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. P. 1–37.
7. Van Der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. Springer-Verlag, Berlin, 2016. 467 p.
8. Tax N., Sidorova N., Haakma R., Van Der Aalst W. M. P. Mining Process Model Descriptions of Daily Life through Event Abstraction. *Studies in Computational Intelligence*. 2017. P. 83–104.
9. Tax N., Sidorova N., Haakma R., Van Der Aalst W. M. P. Mining local process models. *Journal of Innovation in Digital Ecosystems*. 2016. vol. 3(2). P.183–196.
10. Bolt A., De Leoni M., Van der Aalst W.M.P. Scientific Workflows for Process Mining: Building Blocks, Scenarios, and Implementation. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*. 2016. vol. 18(6). P.607–628.
11. Mannhardt F., Leoni de M., Reijers H.A., Van der Aalst W.M.P., Toussain P.J., From Low-Level Events to Activities - A Pattern-Based Approach. *International Conference on Business Process Management (BPM 2016)*. Berlin, Springer-Verlag, Berlin, 2016. vol. 9850. P. 125–141.
12. Левикин В. М., Чалый О.В. Модель жизненного цикла знания-емкого бизнес-процесса. *Управляющие системы и машины*. Киев, УСМ, 2017. № 1. С. 68–76.
13. Kalenkova A. A., Van Der Aalst W. M. P., Lomazova I. A., Rubin V. A. Process mining using BPMN: relating event logs and process models. *Software & Systems Modeling*. 2017, vol. 16. P. 1019–1048.

14. Чалый С.Ф., Левикин И.В. Метод построения интервальной модели процесса решения задачи в составе прецедента на основе анализа журнала событий. *Научные работы ВНТУ*. Вінниця, ВНТУ, 2016, № 4. С. 1-8.

References (transliterated)

1. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin, Springer-Verlag, 2012. 403 p.
2. Vom Brocke J., Rosemann M. *Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems*. Berlin, Springer-Verlag, 2015. 709 p.
3. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer, 2013. 391 p.
4. Kumar A., Van Der Aalst W. M. P., Verbeek E. M. W. Dynamic Work Distribution in Workflow Management Systems: How to Balance Quality and Performance? *Journal of Management Information Systems*. Dynamic Work Distribution in Workflow Management Systems: How to Balance Quality and Performance? NY, USA, 2002, vol. 18(3), pp. 157–193.
5. Vanderfeesten I., Reijers H. A., Van Der Aalst W. M. P. Product-Based Workflow Support. *Information Systems*. 2011, vol. 36(2), pp. 517–535.
6. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. pp. 1–37.
7. Van Der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Springer-Verlag, 2016. 467 p.
8. Tax N., Sidorova N., Haakma R., Van Der Aalst W. M. P. Mining Process Model Descriptions of Daily Life through Event Abstraction. *Studies in Computational Intelligence*. 2017, pp. 83–104.
9. Tax N., Sidorova N., Haakma R., Van Der Aalst W. M. P. Mining local process models. *Journal of Innovation in Digital Ecosystems*. 2016, vol.3(2), pp.183–196.
10. Bolt A., De Leoni M., Van der Aalst W.M.P. Scientific Workflows for Process Mining: Building Blocks, Scenarios, and Implementation. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*. 2016, vol. 18(6), pp.607–628.
11. Mannhardt F., Leoni de M., Reijers H.A., Van der Aalst W.M.P., Toussain P.J., From Low-Level Events to Activities - A Pattern-Based Approach. *International Conference on Business Process Management (BPM 2016)*. Berlin, Springer-Verlag, 2016, vol. 9850. pp. 125–141.
12. Levykin V.M., Chalaya O.V. Model' zhiznennogo tsykla znaniye-emkogo biznes-protsessa [Model of lifecycle of knowledge-intensive business process]. *Upravlyayushie systemy i mashyny* [Control systems and machines]. Kiev, «CSC», 2017, no. 1, pp. 68–76.
13. Kalenkova A. A., Van Der Aalst W. M. P., Lomazova I. A., Rubin V. A. Process mining using BPMN: relating event logs and process models. *Software & Systems Modeling*. 2017, vol. 16. pp. 1019–1048.
14. Chalyi S. F., Levykin I.V. Method postroyeniya interval'noy modeli protsessa resheniya zadachi v sostave pretsedenta na osnove analiza zurnala sobyitiy [Development of method forming process model solution tasks of a part case-based reasoning]. *Naukovi pratsi VNTU* [Scientific works of VNTU]. Vinnitsa, VNTU, 2016, no. 4, pp. 1-8.

Надійшла (received) 05.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чалый Сергій Федорович (Чалый Сергей Федорович, Chalyi Serhii Fedorovich) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Богатов Євген Олегович (Богатов Евгений Олегович, Bogatov, Evgen Olegovich) – асистент кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-7222>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com

Прибильнова Інна Борисівна (Прибильнова Инна Борисовна, Pribylnova Inna Borisovna) – доцент кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6851-5340>; e-mail: inna.butsukina@nure.ua